

Fels - ein Baustoff mit merkwürdigen Eigenschaften

Müller, Leopold

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1983 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.89-97



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Fels – ein Baustoff mit merkwürdigen Eigenschaften

Von **Leopold Müller**, Salzburg

Fels – er hat viele Gesichter. Einem Gast aus der Tiefebene mag er finster, bedrohlich erscheinen, bei einem anderen weckt er romantische Empfindungen; für den Gebirgler wieder ist er ganz unromantisch, einfach heimatlich; den Kletterer lockt er, fordert er heraus, sich selbst zu versuchen, Gefahren zu bestehen, indes er für den Geologen ein aufgeschlagenes Buch ist, auf dessen Blättern die Geschichte unserer Erde geschrieben steht, in Hieroglyphen, deren Entzifferung Lebensinhalt sein kann; der Tektoniker im besonderen entschlüsselt die Entfaltung und Entwicklung als ein dynamisches Geschehen und nimmt eine Welt des Stirb und Werde wahr, in der alles sich verändert, nichts ist (Goethe); für ihn ist „Struktur erstarrte Bewegung“ (Hans Cloos), die einem rhythmischen Ablauf folgt, so daß ebenderselbe große Geologe, der das Wort vom „Gespräch mit der Erde“ gefunden, diese Rhythmen (ohne zu symbolisieren) „Musik der Erde“ nennen konnte, eine Art Echo auf die Harmonie der Sphären.

Harmonices mundi – harmonices terrae.

Dem nüchternen Mineralogen ist Fels Fundstätte kostbarer oder merkwürdiger Mineralien (von Paracelsus und seinen Zeitgenossen noch als Werk der Gnomen und „Bergmännlein“ angesehen); der Bergmann ringt mit dem Fels als mit einem Riesen, dem er, mit Gewalt oder mit List, unter Einsatz des Lebens seine Schätze entreißen muß; für ihn wie für den Mann im Steinbruch ein Acker unendlicher Mühen.

Nicht verwunderlich daher, daß Dichter und Maler ganz besondere Beziehungen zu Felsgebilden entwickeln, daß uns Gesteinsstücke Lionardos und Felsstudien Goethes, aber auch modern empfundene Szenerien eines Lehmden oder Schöllers ganz persönlich ansprechen und daß uns heute noch Goethes Betrachtungen über den Granit oder Darstellungen des Bergingenieurs Novalis, der den „Höheren Bergmann“ in sich zu erwecken bestrebt war, viel zu sagen haben.

Naturwissenschaftler hohen Ranges, wie Albert Heim, Hans Cloos, Bruno Sander, Josef Stini, um nur einige der leuchtendsten Namen zu nennen, haben ein Forscherleben daran gesetzt, dieser Welt der Gesteine auch ihre physikalischen Geheimnisse zu entreißen, und haben so dem Bauingenieur den Weg für seine Arbeit im Fels gebnet.

Denn für uns bauende Ingenieure ist Fels ein Baugrund, auf dem und in dem wir bauen, Straßen, Bahnen, Talsperren, Tunnel; und ein Baustoff. Ein Baustoff freilich nicht wie andere, die wir genauestens kennen und je nach unseren Zwecken wählen können, sondern einer, den wir nehmen müssen, wie er daliegt, wie ihn die Natur uns bietet. Als Gegebenheit müssen wir seine Eigenschaften und Besonderheiten hinnehmen, ebenso die unseren Arbeitszielen förderlichen wie die ihnen entgegenstehenden. Das spricht sich leicht aus, ist aber voller Schwierigkeiten und Unbe-

rechenbarkeiten, ja sogar voller Risiken und Gefahren. Höchst merkwürdig sind diese Eigenschaften, ganz anders als die anderer Werkstoffe, mit denen es je ein Techniker zu tun hat. (Das war ja der Grund, weshalb die Wissenschaften Geomechanik und Felsbaumechanik erst so spät, erst etwa 30 Jahre nach ihrer jüngeren Schwester unter den Geowissenschaften, der Boden- oder Erdbaumechanik, ans Licht der Welt gefunden haben, entsprossen einer nicht ganz unproblematischen Ehe eines höchst ungleichen Paares, Geologie und Mechanik.)

Werkstoff, Baustoff – das klingt sehr nüchtern, hört sich an, als könnten darin kaum Beziehungen zum Menschen gefunden werden. Mag sein, für manchen, aber nicht für alle. Ein jeder Tunnelbau ist ein Abenteuer, ein zäher Kampf mit dem „Gebirge“ (so nennen Bergmann und Tunnelbau ihren Fels „vor Ort“), mit dem Gebirgsdruck, der den eben unter Gefahren geschaffenen Hohlraum wieder schließen, zusammenquetschen oder einstürzen lassen möchte, ein Wettlauf mit der Zeit, ein Kampf mit einem Riesen, der tausendmal stärker ist als wir, und der nur gewonnen werden kann, wenn wir schneller sind als er. Oder wenn wir – im ganz modernen Tunnelbau – den Gegner von einst zum Partner machen, in einer Partnerschaft, in der alles nun plötzlich erstaunlich gut geht – solange wir für den Partner Verständnis haben und nicht gegen die Natur kämpfen, sondern ihr freundlich entgegenkommen, so daß auch sie sich uns gegenüber freundlich verhält, ganz wie Paracelsus meinte: „derjenige ist ein Narr, der sich witziger dünkt denn die Natur, da sie doch unser aller Lehrmeisterin ist.“

Dieser kapriziöse Gegenspieler oder Partner macht es uns freilich nicht immer leicht, ihn zu verstehen; dazu gehört viel Wissen, noch viel mehr Erfahrung, und seine komplexen Reaktionen erfordern Intuition; vielleicht auch eine gewisse persönliche Beziehung zu dieser Umwelt der Trolle. Schon hatte ich mir überlegt, meiner Plauderei die Überschrift zu geben „Erlebnisse mit Felsen“. Dabei hatte ich weniger an das etwas gruselige Gefühl gedacht, dessen ich mich nicht erwehren konnte, als ich, eingesperrt in einem gigantischen Tresor des US-Geological Departments, Trümmer von Mondgesteinen in Händen halten durfte und verwundert die kleinen Einschlagstrichter kosmischen Staubes betrachtete; als viel mehr an die stillen Stunden unter Tage (von denen ich Ihnen nie erzählt hätte, wenn Herr Kollege Duddeck nicht so liebenswürdig ausgeplaudert hätte); vor allem aber an die erlebnisreichen Jahre, in denen sich mir nach 18jährigem Bemühen die Hieroglyphenschrift der Gesteinsklüfte als eine Keilschrift entzifferte, in deren Texten uns die Gesteine über das gigantische Formänderungsgeschehen im Gebirge Kunde geben, welches sie geprägt hat. Da mußte, ehe man ein Kalkül wagen durfte, zunächst so etwas wie Anschauende Urteilkraft mühsam erlernt werden, jener goldene Schlüssel Goethes, über den viel zu erzählen wäre, wenn es die Zeit erlaubte, jene Sprache, welche Paracelsus die „signatura rerum“ nennt und in welcher allein die Gesteine sich auf ein „Gespräch mit dem Menschen“ einlassen. Denn Goethe wußte: „Die Natur offenbart ihre Geheimnisse, aber nicht jedem“, nur dem, der beharrlich, aber geduldig immer wieder anklopft.

Fels als Partner des bauenden Ingenieurs – in der Tat hängt, ganz nüchtern gesehen sein Verhalten weitgehend von uns, seinem Partner ab, ist Antwort auf unser

Tun, respons. Wie störrisch, aggressiv, er auf unsere Eingriffe reagieren kann, dazu nur ein einziges Felserlebnis als Beispiel: die Felsrutschung im Vajonttal, das ehemals Valle de Diabolo hieß. Viele erinnern sich noch der Zeitungsnachrichten vor 20 Jahren, über nahezu 2000 Opfer dieser größten Katastrophe der Baugeschichte, bei welcher aus einem eben fertig gewordenen Stausee, aufgestaut durch die wohl schönste und höchste Gewölbestaumauer der Welt, 40 Millionen Kubikmeter Wasser, der halbe Stausee, 260 m hoch in die Luft geschleudert wurden, sich durch die Schlucht ins Haupttal des Piave ergossen und innerhalb von sieben Minuten eine Stadt und fünf Ortschaften dem Erdboden gleichmachten. 275 Millionen Kubikmeter, die Masse eines ganzen Berges, waren mit D-Zuggeschwindigkeit zu Tal gegliitten, hatten die 90 m breite Schlucht einfach übersprungen und die Wasser des Sees nach oben geschleudert, ein Ereignis, das sechs Ingenieure ins Gefängnis brachte und einen in Verzweiflung sein Leben beenden ließ. Ich sagte damals vor den Richtern, Schuld wären an diesem Ereignis diejenigen, welche alle Forschungsgelder der Großstaaten in die Vorbereitung zu Kämpfen im zirkumterrestrischen Raum, dem fälschlich so genannten Weltraum, investierten, anstatt wenigstens einen winzigen Promille-Anteil davon in jene Forschungen zu lenken, welche geeignet wären, das Leben auf der Erde zu sichern. Denn wenn die geomechanische Forschung nur 10 Jahre früher hätte begonnen werden können (nach bereits vorhandenen Konzepten), dann hätte dieses Unglück, ebenso wie der Bruch der Talsperre Malpasset in Frankreich nicht geschehen müssen. Die Richter hatten leicht zu sagen, man hätte ganz einfach nicht bauen dürfen, wenn nicht mit apodiktischer Gewißheit jegliche Gefahr ausgeschlossen werden konnte. Dürfte man dann überhaupt etwas bauen? Und was sollten die Verantwortlichen denn tun, denen drei Spezialisten von Weltruf versichert hatten, nichts wirklich Gefahrbringendes werde passieren, während nur ein einziger, überdies jüngerer, Geomechaniker, die Rutschung in voller Größe vorausgesagt hatte, und auch dies nicht mit einer solchen Geschwindigkeit und Wucht, mit der sie dann niederraste, – erstmalig in der Geschichte und Literatur.

Die komplizierten Eigenschaften des Werkstoffes Fels hängen mit seiner Entstehung und den Geschicken zusammen, die die sogenannte feste – in Wahrheit gar nicht so feste, sondern sehr bewegliche – Kruste der Erde, diese dünne Eierschale auf einem plastischen Substrat, seit altersher bis in die Gegenwart erleidet. Die Wortbezeichnung „Fels“, die daran erinnert, daß Gestein einen Grund abgeben kann, auf dem man Kirchen bauen kann, die trägt. Fels, oder wie wir lieber sagen: „Gebirge“, ist zerbrochenes, durch und durch zerklüftetes Gestein, so schwach mitunter in seiner äußersten Zerbrechung, daß es sich flacher böschet als Schutthalden oder Sandberge. Riesenkräfte haben die Kruste bewegt, geschoben und gefaltet, bewegen sich noch; Kräfte von solcher Intensität, daß ihnen härtester Granit und auch noch festere Gesteine nicht standhalten, sondern unter ihrem Drang und Zwang in eine Unsumme größerer und kleinerer Teilkörper, „Kluftkörper“, zerlegt werden. Fels ist also kein Kontinuum, wie alle unsere übrigen Werkstoffe, und – da haben wir schon die erste Schwierigkeit – gehorcht daher ganz und gar nicht mehr den Gesetzen der Kontinuumsmechanik, wie wir sie auf den Technischen Schulen lernen. Dieser Umstand

machte das Felsmaterial noch vor 30 Jahren, da es keine Diskontinuumsmechanik gab, völlig „unberechenbar“, im allgemeinen, aber auch im mathematischen Sinne.

Felsbaumechanik aber will berechenbar machen. Sie stand – und steht teilweise noch immer – vor der seltsamen Frage: wie bricht Zerbrochenes? Denn Felsböschungen, Ein- und Anschnitte von Verkehrswegen, Baugruben, Gründungen, z.B. Fundierungen hoher Staumauern, Tunnel – alles besteht aus diesem zerbrochenen Material, dessen Verhalten, dessen Reaktionen auf unsere Eingriffe wir voraussagen sollen. Und es ist gelungen: große Fels-Rutschungen wie die vom Gepatsch-Speicher in Tirol oder die am Rande des Golfes von Patras, am Peloponnes, von Libby im Norden der Rocky Mountains, wurden beherrscht, gebändigt, besänftigt und bezähmt, zielsicher und mit wohlberechneten Mitteln, eigens zu solchem Zweck erdacht. Erschwert werden solche Arbeiten nur leider durch die politischen und Finanzverwaltungen, welche die Mittel zur rechtzeitigen Erkundung des Gebirges selten zeitgerecht, nämlich in der Zeit der Vorplanung, zur Verfügung stellen, sondern erst dann, bis sie endlich „aus einem anderen Titel“ freiwerden und zwar zu einer Zeit, in der es für ausreichende Vorerhebungen oft schon zu spät ist und gebaut werden möchte.

Die junge Wissenschaft der Felsmechanik (wie die Welt sie nennt, „Rock Mechanics“) oder Geomechanik (wie wir im Deutschen lieber sagen), trägt einen Januskopf. Er richtet seinen Blick zum einen auf Ingenieuraufgaben, auf den Felsbau; – Felsbaumechanik –; zum anderen auf die Probleme der Gebirgsbildung und -ausformung, der mechanischen Erklärung tektonischer Gebilde, – „Tektonomechanik“, eine erst in Anfangsgründen vorhandene, in mehr oder minder privater Forschung entwickelte und noch an keiner Hochschule beheimatete Disziplin.

Von den Besonderheiten unseres Baustoffes erwähnten wir bereits seine Diskontinuität. Die Eigenschaften, die diese Zerteiltheit zur Folge hat: Entfestigung und Anisotropie, erläuterte ich in einführenden Vorlesungen gern mittels eines sehr primitiven Experimentariums: einer Schachtel Würfelzucker und einem Zuckerhut. (Denn in der Geomechanik ist es, wie in jeder komplexen Materie der Wissenschaft, das Wichtigste: das Elementare verstanden zu haben; warum verhält sich Fels so und nicht anders unter gewissen, aber wieder ganz anders unter anderen Bedingungen?) Bei diesem einfachen „Experiment“ leuchtet sofort ein, daß beides, Zuckerschachtel und Zuckerhut, verschiedene Erscheinungsformen desselben Stoffes sind, und daß der Zucker in der Schachtel, die sich zusammendrücken, verwinden und verbiegen läßt, nicht mehr annähernd dieselbe Festigkeit und Steifigkeit besitzt wie der massive Zucker, aus dem der Zuckerhut und die einzelnen Würfel bestehen.

Und gleich noch etwas anderes zeigt sich: daß man den Zucker in der Schachtel in Richtung der Diagonalen viel leichter zusammendrücken kann als parallel zu den Seitenwänden der Würfelstückchen und der Schachtel. In verschiedenen Richtungen ist die geklüftete Masse unseres Zucker-„Gebirges“, verschieden steif, verschieden fest, verschieden tragfähig – Mechanische Anisotropie nennen wir das, Richtungsabhängigkeit in Bezug auf mechanische Eigenschaften. Eine andere Anisotropie, hydraulische Anisotropie, würden wir entdecken, wenn wir durch eine geklüftete Masse eine Flüssigkeit schicken würden, im Fels z.B. Grundwasser, „Bergwasser“; es

würde sich in verschiedenen Richtungen sehr verschieden leicht und verschieden rasch hindurchbewegen.

Die Eigenschaften der Felsmassen sind alles eher als konstant. Sogar von der Größe des jeweilig betrachteten Bereiches hängen sie ab: Hochfest und steif ist der Kristall; viel weniger schon der Stein, der aus Kristallen oder Kriställchen besteht; noch weit weniger der Fels im Bereich einer Baugrube oder eines Tunnels; aber ganz weich und unfest wird der Fels, sobald wir große Gebirgszüge betrachten. Denn von Stufe zu Stufe kommen neue Bewegungsbahnen hinzu, welche ihn immer weniger fest und immer beweglicher machen. Die Zeit reicht leider nicht hin, das zu erklären.

Nur soviel für heute: die Eigenschaften geklüfteter Medien sind nur in geringem Grade Funktionen der Substanz, sondern sie sind im wesentlichen Funktionen des Verbandes, der ihre einzelnen Teilkörper verbindet, sie trotz ihrer Getrenntheit zu einem ganzheitlichen Reagieren zwingt. Wir nennen die räumliche Anordnung aller Trennflächen, Schichten, Zonen usw. das Gefüge. Geomechanik ist dergestalt Gefügemechanik. Als die „Innere Gestalt“ des Gesteins spricht Sander, mit W. Schmidt der Begründer einer viel umfassenden Gefügekunde, diese Gefüge an. Je besser wir unsere Baukonstruktionen diesem Gefüge anpassen, das fast alle Eigenschaften der Felsmassen bestimmt, desto sicherer und desto wirtschaftlicher bauen wir. Wo es an dieser Anpassung fehlte, passierten Mißerfolge, sogar Katastrophen, wie z.B. an einem der größten Stauwerke der Welt, am Pakistanischen Tarbela-Damm, einer Konstruktion, an der die namhaftesten Ingenieurbüros der Welt beteiligt waren, aber die Geomechanik nicht genügend ernstgenommen wurde. An der Staumauer Tachien (in Taiwan) hingegen verstand man es, eine 200 m hohe Gewölbestaumauer dem Gefüge der Felswiderlager anzupassen, wenngleich sie dadurch sehr unsymmetrisch ausfiel, und alles ging bestens.

Eine weitere Besonderheit unseres Werkstoffes: seine überaus große Querdehnung unter einachsiger Belastung, also seine Formänderungen quer zur Hauptbelastungsrichtung. Bis zu 16% haben sich die Felsmassen der katastrophalen Rutschung im Vajonttal aufgestaucht, verdickt; bei Beton oder Stahl erreichen gleichartige Vorgänge höchstens Bruchteile dieses Betrages. Diese Erkenntnis hat zu einer der wichtigsten Folgerungen für den praktischen Felsbau geführt: seit wir wissen, wie sehr die Belastungsfähigkeit klüftigen Felsens mit seinem Querdehnungsverhalten verknüpft ist, können wir nicht nur in Tunneln und in tragendem Felsuntergrund von Talsperren, der mit Millionen von Tonnen belastet ist, die im Fels vorhandene Tragsicherheit durch Messungen einschätzen und in den Griff bekommen; sondern wir haben daraus gelernt, daß wir selbst mäßig starken Fels tragfähig erhalten können, seine Belastbarkeit erhöhen können, wenn wir seine Querdehnungen beschränken, wenn wir ihm „Querstützung“ geben; und das kann oft mit erstaunlich geringen Kräften geschehen. So konnte z.B. die Vajonttalsperre trotz 8facher Überlastung während der Katastrophe durch die herabstürzenden Wasser gerettet werden durch eine Bewehrung ihrer Felswiderlager, deren durch Vorspannkabel eingetretene Kräfte nicht mehr betrug als etwa 0,3% der auf die Mauer im Ruhlastfall wirkenden Wasserlast von etwa dreieinhalb Millionen Tonnen.

Seit wir diese Zusammenhänge durchschaut haben, verstehen wir endlich auch, wieso sich unsere fast lächerlich geringen Ankerkräfte und dünnen Spritzbetonschalen in Tunneln als stark genug erweisen, um zu verhindern, daß uns der Gebirgsdruck die schöne, eben aufgefahrene Röhre wieder zerdrückt. So durften wir es wagen, die größte künstliche Höhle der Welt, das Krafthaus Waldeck in Hessen, einen Hohlraum von Kirchturmhöhe und von 33 m freier Spannweite, allein durch solche vorgespannte Felsanker zu sichern, wo wir noch vor wenigen Jahren stahlverstärkte Betongewölbe und -wände von vielleicht 2 m Dicke zur Stützung des Gebirges eingebaut hätten. Fruchtbare Theorie im Tunnelbau, in eben jenem Zweig der Bautechnik, dessen Fortschritt bis vor etwa 20 Jahren ein halbes Jahrhundert lang durch unzutreffende Theorien gehemmt worden war.

Nun aber haben wir Theorien, welche nicht mehr mit der Praxis in Widerspruch stehen, sondern aus ihr geboren sind. Im modernen Tunnelbau halten wir uns, wenn wir auch hochentwickelte Rechenverfahren entwickelt und in Gebrauch genommen haben, bei der eigentlichen Bemessung „vor Ort“, dort wo wirklich und endgültig entschieden werden muß, wie stark und wie rasch, mit welchen Mitteln der Hohlraum im Berg gestützt werden muß, rein an die Verknüpfung der Phänomene, welche nach Goethe die Lehre sind, in diesem Falle der Phänomene des Verformungsgeschehens, ohne „hinter den Schleier der Phänomene“ zu treten, d.h. ohne die Verformungen umzudenken in Kräfte und Spannungen. Herr Kollege Duddeck hat vom Einfluß Goethes bzw. seiner Wissenschaftsmethodik auf die Felsbaumechanik gesprochen; hier haben wir tatsächlich angewandten Goetheanismus.

Das mechanische Verhalten klüftigen Felsens ist aber noch vielschichtiger (ich spreche, wie Sie bemerken, schon gar nicht mehr von Eigenschaften, sondern vom Verhalten, wir treiben sozusagen Verhaltensforschung): denn dieses Verhalten ist, neben allem anderen auch noch vom jeweiligen Spannungszustand des Gebirges abhängig, in hohem Maße auch von der Zeit und überdies von dem in seinen Klüften befindlichen Wasser, dem „Kluftwasser“!

Da der Spannungszustand an jeder Stelle unserer Felsbauwerke ein anderer ist, in der Firste eines Tunnels ein anderer als in den seitlichen Wänden, den „Ulmen“, in einiger Entfernung von der ausgebrochenen Gesteinsleibung ein anderer als in deren Nähe, haben wir sozusagen rundum lauter unterschiedliches Verhalten, ganz verschiedene Eigenschaften, fast könnten wir sagen, lauter verschiedene Gebirge in ein und demselben Gebirge.

Dazu muß man aber noch wissen, daß die meisten unserer Felsgebirge voll Spannungen sind, unter Hochspannungen stehen, was wir am ehesten nachempfinden können, wenn sich diese gelegentlich entladen und wir Erdbeben wahrnehmen, die, an einem Punkt der Erde auftretend, den ganzen Erdball in meßbare Vibrationen versetzen. Denn die Erdgeschichte ist ja nicht zu Ende; ebensowenig wie unsere menschliche Geschichte. Hans Carossa sagt einmal, vor dem ersten Kriege hätten die Menschen so unbekümmert gelebt, „als wären alle Kriege und Revolutionen der Vergangenheit nur dazu dagewesen, uns ein ruhiges Leben zu sichern“. Ganz so hat man – lange Zeit auch in der Geologie gedacht. Heute wissen wir, daß wir auf einer „un-

ruhigen Erde“ – der Titel eines sehr schönen und noch immer aktuellen Buches von Gheyselinck – leben und daß noch immer Gebirge entstehen und vergehen und Seismos auch heute noch wie im zweiten Faust sagen kann: „Und hätte ich nicht geschüttelt und gerüttelt, wie wäre diese Welt so schön“?

(Nebenbei: ich bin, mit vielen tibetischen Lamas, durchaus der Meinung, die Erde müsse sich keineswegs alles gefallen lassen, was die Menschen auf ihr, mit ihr, treiben – und bin, gemeinsam mit einer Minderheit von Geowissenschaftlern, der Überzeugung, daß seit Jahrzehnten die tektonische Tätigkeit auf unserem Planeten zunimmt. Als ein Außenseiter, den mir der Rektor der Universität Karlsruhe bei einem großen Colloquium aus Anlaß meines Ausscheidens öffentlich, in wohlwollendem Tone, bescheinigt hat, kann ich mir eine solche Aussage leisten). Sagt doch auch Rilke – und Dichter muß man ernst nehmen! – „Wir spielen mit dunklen Kräften, die wir mit unseren Namen nicht fassen, wie Kinder, die mit dem Feuer spielen, und es scheint einen Augenblick, als hätte alle Energie bisher ungebraucht in den Dingen gelegen, bis wir kamen, um sie auf unser flüchtiges Leben und seine Bedürfnisse anzuwenden. Aber immer und immer wieder in Jahrtausenden schütteln die Kräfte ihre Namen ab und erhalten sich wie ein unterdrückter Stand gegen ihre kleinen Herren, ja nicht einmal gegen sie – sie stehen einfach auf, und die Kulturen fallen von den Schultern der Erde.“ Ganz ähnlich Erhard Kästner.

Hochdramatische Erlebnisse ließen sich erzählen, nicht nur aus dem Tunnelbau und dem Bergbau vieler Länder, auch aus dem Talsperrenbau, Ereignisse, welche entweder durch hohe Gebirgsspannungen bedingt waren, die sich austobten, wenn man störend eingriff – und fast jeder unserer Eingriffe ist eine Störung – oder die sich verhängnisvoll in donnernden „Gebirgsschlägen“ kundtun, wie sie z. B. in 3000 und mehr Metern Tiefe unter Tage im südafrikanischen Goldbergbau jährlich viele hundert Menschenleben in einem einzigen der dort zahlreichen Bergwerke hinwegraffen.

Fels, wie wir ihn sehen müssen, besteht aber nicht nur aus Stein, besteht aus Stein, Wasser und Luft. Die beiden letztgenannten Elemente sind in Poren und Klüften des Gesteins enthalten, in Poren eingeschlossen, in den Klüften zirkulierend. Ein Zweiphasensystem zumindest also, wenn wir den Einfluß der gasförmigen Phase vernachlässigen, was für die meisten Beziehungen zulässig ist.

Als 1926 die Gleno-Talsperre in den italienischen Alpen brach und die Wasserflut 600 Menschenleben vernichtete, waren die Ursachen dieser Katastrophe den Fachleuten der Zeit völlig unklar, und erst vor etwa 25 Jahren haben wir im Salzburger Kreis die Zusammenhänge darzustellen vermocht: das Wasser in den Klüften hatte mit seinem Druck die Reibung (die ja druckabhängig ist) zu einem wesentlichen Teil herabgesetzt, so daß ein großer Abschnitt der Sperre auf einem System von reibungsarm gewordenen Klüften einfach in die Tiefe gleiten mußte. (Bemerkenswert übrigens, daß bereits damals ein österreichischer Physiker und Philosoph, R. Steiner, richtig sah und unmittelbar nach der Katastrophe schreiben konnte, daß dieses Unglück nicht hätte geschehen müssen, wenn man die Gesetze des Archimedes nicht nur gelernt, sondern auch in sein Denken aufgenommen hätte).

Fels ist ein Zweiphasensystem. Viele Talsperrenmißerfolge, die in letzter Zeit durch die Presse gegangen sind, z. B. die viele 100 Millionen-Dollar-Reparaturen der Hochwasserüberfälle am Pakistanischen Tarbela-Damm, aber auch unliebsame Erscheinungen an europäischen Talsperren, hängen mit dem immer noch zu wenig beachteten Wesen des Zweiphasensystems zusammen. Wir alle haben noch die Katastrophe von Malpasset in Erinnerung, bei welcher 300 Menschen ihr Leben lassen mußten, als die Talsperre ihre erste Füllung erfuhr – Tücke des Zweiphasensystems; man hatte die Berechnungen nur auf ein Einphasensystem abgestellt.

Kluftwasserdruck entfestigt, plastifiziert geradezu das Gebirge, macht es bewegungssüchtig. Ohne Kluft- und Porenwasserdruck könnten wir die Beweglichkeit mächtiger Gebirgsketten in großen Teufen und innerhalb geologischer Zeiträume nicht erklären, und auch nicht den Formenreichtum ihrer Faltungen. Kluftwasserdruck kann Erdbeben erzeugen in Gebieten, in denen vorher noch nie Erschütterungen erfahren wurden, wie z. B. durch Einpressen flüssiger Chemieabfälle in einem Bohrloch bei Denver oder durch den Aufstau künstlicher Seen, was bei einem der ersten Ereignisse dieser Art viele hundert Menschenleben kostete.

Unter einer stoßweise auftretenden Wasserdruckbelastung gar kann Reibungsschluß auf Klüften und somit zwischen den Kluftkörpern sogar ganz annulliert werden; das war bei der schon erwähnten Großkatastrophe im Vajonttal der Fall, wo 600 Millionen Tonnen Fels plötzlich begannen, wie eine Flüssigkeit talwärts zu schießen. Ich spreche von Massenthixotropie (ich sage das in der Ersten Person, weil diese Auffassung nicht ganz unwidersprochen geblieben ist).

Alle diese reichlich variablen Größen und Einflüsse werden nun noch variabler, wenn wir auch die Zeit mit betrachten, die rasche oder weniger rasche, mitunter unendlich langsame, bei einer Sprengung oder einem Erdbeben wieder unendlich rasche Aufbringung der Be- oder Entlastung, aber auch die Zeitdauer einer Last. Was aussieht wie ein starrer, spröder, fester Körper, wird z. B. bei sehr lange währender Beanspruchung vor dem geistigen Auge des Geomechanikers zu einem plastischen, vergleichsweise leicht verformbaren, flexiblen Stoff, der sich nach den Gesetzen der Rheologie verhält, also nach der Lehre vom mechanischen Verhalten steifer bis hochsteifer Flüssigkeiten. In der Tat sprechen wir, wenn wir uns über Gebirgsbildungsvorgänge unterhalten, auch unter Geologen, von „Sekularfließen“; denn mit statischen Begriffen kommt man diesem Geschehen, im Verlauf dessen Gebirgsmassen zusammengeschoppt gefaltet, überfaltet, überschoben werden, nicht mehr nahe. Als ein besonderer Einfluß erweisen sich wiederholte Be- und Entlastungen, Wechsellasten, wie sie bei gemauerten Talsperren auftreten, die sich jeden Sommer um viele Zentimeter vorschieben und sich vornüberneigen, um dann im Winter wieder zurückzufedern. Erst im letzten Jahre konnte ich diesen Dingen, zusammen mit einem jungen chinesischen Kollegen, Ge, auch rechnerisch auf den Leib rücken.

* * * *

Alle diese schier unendliche Vielfalt der Erscheinungen zusammenzuschauen, gegeneinander abzuwägen, in ihrer Bedeutung für die Geologie und für das Bauwesen

richtig zu bewerten, bedarf es eines weitwinkeligen Blickes, einer Kombinationsgabe, einer gewissen Vielseitigkeit. Hier muß der Makroskopiker den Mikroskopiker ergänzen. Aus hundert über Räume und Zeiten verteilten Beobachtungen zunächst doch ein Bild erstehen zu lassen, aus hundert Indizien eine Schlußfolgerung zu ziehen, gleicht dem Lesen in einer vielzeiligen großen Orchesterpartitur.

Ein dynamisches Weltbild wird der schier verwirrenden Flucht der Erscheinungen, aber auch der erwähnten Wechselwirkung zweier Partner, Fels und Mensch, weit eher gerecht als unser auf den Schulen fast ausschließlich gepflegtes statisches Weltbild. Auch mußten wir erst lernen, mehr in Verformungen und Bewegungen als in Spannungen zu denken; das ist für uns alle ungewohnt. Während Spannungen niemals wirklich gemessen worden sind und wir nicht einmal wissen, ob es sie gibt oder ob sie (im Sinne Goethes) etwas von uns Hinzugedachtes sind, können Bewegungen und Formänderungen in der Natur unmittelbar beobachtet und leicht gemessen werden. So erforderte es denn auch die Pflicht zur Konsequenz, neue Bruchkriterien aus reinen Verformungsmessungen zu entwickeln, ohne den Umweg über Spannungen; Kriterien, von denen wir uns nach anfänglichen Erfolgen noch sehr viel erwarten dürfen.

So wie die Japaner sagen: eine Talsperre müsse mit ihrem Fels verheiratet sein (was freilich eine oft ungleiche Ehe ist – sie jung und schön, er uralt und häßlich, sie neu und strahlend, er dagegen runzelig und verwittert; sie berechnend, er ganz unberechenbar, kraftstrotzend sie, dagegen er oft so geschwächt, daß er Injektionen bekommen muß); – wie also eine Staumauer und ihr Untergrund ein System und nicht zwei Systeme sind, ganz so muß in allen felsbautechnischen Betrachtungen eine ganzheitliche Sicht herrschen. Denn alles ist schließlich Mikrokosmos in einem großen Makrokosmos. Womit wir wieder bei Paracelsus wären.

Geomechanik muß stoff- und naturnahe getrieben werden. Während noch vor 40 Jahren viele Geologen nicht einmal die Millionen von Klüften gesehen haben, welche das Gestein allenthalben durchziehen, – denn „nichts ist“, nach einem alten lateinischen Wort „in den Sinnen, was nicht vorher im Denken war“ – müssen wir heute subtilste Naturbeobachtung in der Geomechanik als eine *conditio sine qua non* betrachten. Mehr noch: wir sollten außer mit dem äußeren auch mit dem inneren Auge sehen lernen, welches die „Salbe des Derwischs“ im Märchen öffnet. Denn Salomon, der alles für quantifizierbar hielt, wenn er sagte, Gott habe die Welt (nur) nach Maß, Zahl und Gewicht geschaffen, hat nur teilweise recht. Mit Zahlen, Ziffern und Indizes läßt sich trefflich streiten, auch ein System bereiten, man fühlt sich in ihrer Welt der Quantitäten sicher. Aber man ist es häufig nicht wirklich; denn wohl hat alles Quantität, aber es hat auch Qualität, und diese ist meist nicht quantifizierbar. In dieser Hinsicht tut ein Felsmechaniker gut daran, sich von dem abendländischen Fehler des Entweder-Oder-Denkens zu lösen und den vierten Hauptsatz des Aristoteles (vom ausgeschlossenen Dritten) endlich wieder einmal neu zu durchdenken, welcher zu einer Laufmasche unserer Logik geworden ist. Gegensätze sind keine Widersprüche, ihre Synthese zu finden, in allen Dingen, ist Zukunftsaufgabe. Eine Aufgabe voll Verantwortung für den Menschen und den Stern, auf dem wir wohnen.